



über 300.000  
Kurse & Charts

FAZ



# Frankfurter Allgemeine

## SONNTAGSZEITUNG

HERAUSGEGEBEN VON DIETER ECKART, JÜRGEN JESKE, BERTHOLD KOHLER, GÜNTHER NONNENMACHER, FRANK SCHIRRMACHER

◀ Sonntagszeitung heute

Alle Themen des Tages

Sonntagszeitung ▶

Meinung ▶

## Wissenschaft

### Computer, die sich selbst entwerfen / Von Thomas Vasek

Fünf Jahre ist es her, daß im Labor von Adrian Thompson an der Universität Sussex ein kleines Stück Elektronik entstand. Der Schaltkreis kann eigentlich nur einen hohen von einem tiefen Ton unterscheiden, was nicht weiter aufregend ist. Nur: Wie macht er das? Man weiß es nicht.

Wochenlang taten Thompson und ein Kollege nichts anderes, als das Gewirr der winzigen Drähte zu studieren. Irgendwann gaben sie es auf. "Heute glauben wir zwar grobenteils zu wissen, was da abläuft", sagt der Elektronik-Experte Thompson: "Doch ganz verstehen wir es immer noch nicht."

Kein Mensch versteht es.

Die Analyse sei eine "seltsame Erfahrung" gewesen, sagt Thompson: "Fast jeden Tag kamen wir mit einer neuen Theorie. Doch jedesmal tauchten weitere Merkwürdigkeiten auf, die uns zeigten, daß wir falsch lagen." Heute weiß Thompson, warum: "Wir haben als Elektronikdesigner gedacht. Doch was wir da vor uns hatten, funktionierte eben nicht wie ein von Menschen entwickeltes Design." Eher habe man sich an ein Insektengehirn erinnert gefühlt.

Der mysteriöse Schaltkreis wurde tatsächlich nicht von Menschen gemacht. Er hat sich selbst entwickelt und vervollkommnet. Wollten Chip designer einen Schaltkreis gleicher Funktion mit konventionellen Methoden bauen, brauchte man laut Thompson zehnmal so viele Komponenten.

"Evolvierbare Hardware" (EHW) heißt das Forschungsgebiet, das solche Technik hervorbringt. EHW

ANZEIGE



Die Frage ist nicht, Ze...  
oder Interne

Die Frage is  
finde ich m  
Karrierecha

Der F.A.

braucht keine Ingenieure. Sie erfindet sich selbst. Die elektronischen Bauelemente entwickeln sich nach den Prinzipien der biologischen Evolution. Das Forschungsgebiet könnte eines Tages die Herstellung von Chips revolutionieren, in ferner Zukunft vielleicht sogar autonome, lernfähige Maschinen hervorbringen.

Konventionelle Hardware, die physikalische Ausrüstung eines Computers, verändert sich nicht. Einen herkömmlichen Chip kann man nicht einfach neu verdrahten, wenn einem die Funktion nicht mehr paßt. Evolutionäre Hardware benötigt deshalb zunächst einmal Elektronik, die sich überhaupt verändern läßt - rekonfigurierbare Hardware. So etwas gibt es. Ein Beispiel sind "Field Programmable Gate Arrays" (FPGAs, "umprogrammierbare Gatter-Matrizen").

Ein FPGA besteht aus einer Matrix miteinander verdrahteter Blöcke, die jeweils verschiedene logische Operationen ausführen können. Im Unterschied zu einem konventionellen Computerchip läßt sich dieses Design jedoch verändern. Die jeweils gültige Konfiguration eines FPGA wird durch Bit strings bestimmt, also Ketten von Nullen und Einsen, die in einem Speicher auf dem Chip abgelegt sind. Jede neue Einstellung erzeugt letztlich einen neuen kleinen Rechner.

Man kann solche FPGA-Chips im Prinzip mit konventionellen Methoden, also "von Hand" programmieren. Doch "Evolvable Hardware" bietet eine bessere Idee: Warum läßt man den Chip nicht einfach sich selbst entwerfen? Das Prinzip liegt darin, auf die "Konfigurations-Bits", also auf die Schaltereinstellungen des Chips, sogenannte evolutionäre Algorithmen anzuwenden - Methoden also, die biologische Grundprinzipien wie Selektion und Variation imitieren.

Evolutionäre Programmieretechniken wurden in den sechziger Jahren erfunden. Man setzt sie heute zum Beispiel in der automatischen Mustererkennung ein. Ein solcher Algorithmus arbeitet mit Computerprogrammen statt mit genetischen Sequenzen. Man beginnt mit einer Population von meist zufällig erzeugten Bit-Strängen, sie treten an die Stelle der Chromosomen. Jedes dieser Programme bekommt eine Chance, das gestellte Problem zu lösen. Im nächsten Schritt bewertet der Algorithmus die Tauglichkeit der einzelnen Programme. Die besten erhalten eine höhere Chance, zu überleben - das natürliche Prinzip der Auslese. Zufallsprozesse führen zu Neuerungen: Programme werden paarweise gekreuzt, wahllose Veränderungen einzelner Bits bewirken Mutationen. Die tauglichsten Programme setzen sich allmählich durch, während die weniger geeigneten untergehen.

In der EHW wendet man einerseits sogenannte "extrinsische" Methoden an, die den Evolutionsprozeß erst simulieren und danach das Ergebnis auf einem Chip verdrahten. Spektakulärer ist indes die "intrinsische" Variante, die Thompson mit seinem Schaltkreis erstmals 1996 demonstriert hat: Die Evolution findet direkt in der Hardware statt. Für den rätselhaften Schaltkreis zur

Unterscheidung von Tönen waren über 4000 Generationen nötig - am Ende kam etwas heraus, das die Welt noch nicht gesehen hatte.

Mit EHW könne man "Designs entdecken, auf die Menschen niemals kommen würden", sagt Mo she Sipper, Computerwissenschaftler an der Ben-Gurion-Universität in Israel. Menschliche Ingenieure brauchen Vereinfachungen, etwa die Aufteilung in Module, um den Entwurfsprozeß zu beherrschen - doch dabei bleiben viele Alternativen auf der Strecke. Evolutionäre Schaltkreise hingegen profitieren von weitgehender Freiheit. Ihre Stärke liege darin, daß sie unbelastet von vorgefertigten Ideen funktionieren, sagt Thompson.

Evolvierte Schaltkreise beuten subtile Eigenschaften ihres jeweiligen Mediums aus. Dazu zählen auch solche, von denen die Chipdesigner keine Ahnung haben - etwa Fehler, welche die Arbeitsweise eines konventionellen Chips gar nicht beeinflussen würden. Darin liegt wahrscheinlich auch das Geheimnis der seltsamen Elektronik aus Adrian Thompsons Labor: Der Schaltkreis scheint Zeitverzögerungen auszunützen, die durch "parasitäre" Spannungen und Widerstände auf dem Silizium verursacht werden.

Der Computerwissenschaftler John Koza von der Stanford University, einer der Pioniere auf dem Gebiet, hat bereits sieben evolvierte Schaltkreise gesammelt, die er "human-kompetitiv" nennt, weil sie von Menschen angemeldete Patente verletzen: Sie machen den Erfindern Konkurrenz.

Man könne EHW insbesondere "für Aufgaben einsetzen, wo man sonst nicht weiterkommt", sagt Uwe Tangen vom GMD-Forschungszentrum für Informationstechnik. Ein Beispiel ist der Entwurf analoger Schaltkreise. Sie unterscheiden sich von ihren digitalen Brüdern dadurch, daß sie kontinuierliche Zustände annehmen können, nicht bloß 0 oder 1; man braucht sie auch in der digitalen Welt noch immer, zum Beispiel für die Messung kontinuierlicher Größen wie Temperatur oder Töne. Analoge Schaltkreise zu entwerfen ist allerdings kompliziert und erforderte bislang kunstvolle Handarbeit. Das ist mißlich, denn zum einen sind Fachkräfte für analoges Design knapp, zum anderen sind viele analoge Schaltkreise unter wechselnden Umweltbedingungen fehleranfälliger als ihre digitalen Pendanten, die ja nur zwischen zwei Zuständen - Strom oder kein Strom - unterscheiden müssen. Nun ruht die Hoffnung darauf, daß die künstliche Evolution einen Weg zur Vervollkommnung findet.

In der Nanotechnologie wird es vielleicht gar nicht anders gehen. Zwar ist es heute schon möglich, einzelne nanoelektronische Komponenten in molekularem Maßstab, etwa logische Schaltkreise, zu bauen. Doch die Schwierigkeit liegt darin, viele Tausende solcher Komponenten miteinander zu verbinden. Derartige Systeme werde man nicht "von Hand fertigen können", sagt Uwe Tangen: "Sie müssen von sich aus das Richtige tun."

Ein anderes Ziel von "Evolvable Hardware" ist die Entwicklung autonomer, fehlertoleranter Systeme, die sich an wechselnde Umweltbedingungen anpassen können. Der japanische Forscher Te tsuya Higuchi, der eine EHW-Arbeitsgruppe in Tokio leitet, hat einen evolutionären Steuerungsmechanismus für eine künstliche Hand entwickelt. Die Prothese lernt, sich an die menschlichen Nervenbahnen zu adaptieren - anstatt, wie üblich, umgekehrt.

Ein Roboter, der auf dem Mars nach Wasser bohrt, kann bei Hardwareproblemen nicht auf den Techniker warten. Jason Lohn, Forscher am Ames Research Center der US-Weltraumagentur Nasa in Palo Alto (Kalifornien), schwärmt deshalb von "Maschinen, die sich selbst programmieren, zusammenbauen und reparieren können". Die Nasa will Raumschiffe entwickeln, die sich selbst zusammenflicken, wenn mal etwas schief läuft. Ein "evolvierbares Hardware-Immunsystem" könnte zum Beispiel die Bordcomputer gegen Störungen durch herumschwirrende Hochenergiepartikel wappnen.

Zur Zeit fehlt evolutionären Systemen für derartige Anwendungen allerdings die nötige Leistungsfähigkeit. Man kann sie nicht leicht skalieren: Große, kompliziertere Systeme lassen sich bislang nicht entwickeln. Echtzeit-Anpassung in einer realen Umwelt ist schwierig, weil zu viele Faktoren zusammenwirken. Eine Machtübernahme durch evolvierte Super-Roboter steht vorerst nicht zu befürchten.

Einige evolvierte Roboter können zwar schon lernen, einem Ball nachzulaufen oder einer Wand auszuweichen. Für den Alltag ist das aber zu wenig. Ein sich evolvierendes Steuerungssystem müßte sich pausenlos selbst ausprobieren - in der realen Welt kann das gefährlich sein. Mobile Roboter können sich Irrtümer nicht leisten. Ein einziges untaugliches Steuerungssystem könnte der Evolution ein jähes Ende bereiten: Wenn der Roboter am erstbesten Hindernis zerschellt.

Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, 23.2.2002

[↑ nach oben](#) → [Impressum](#) → [Drucken](#) → [Sitemap](#) → [Media-Daten](#)  
© Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH